

بررسی عملکرد شکستگی‌ها و تعیین تنش برجا در سازند مخزنی آسماری میدان نفتی مارون (بر اساس تفسیر نتایج نمودارهای تصویرگر) محمد رضا مهدور*¹، میثم فارسی‌مدان¹، زهرا کمالی²

* 1) شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب، اهواز، ایران. (mahdevar1138@gmail.com)

1) شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب، اهواز، ایران. (Meisam.farsimadan@gmail.com)

2) دانشجوی دکتری، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران. (zahrakamali@birjand.ac.ir)

چکیده:

کمبرند چین‌خوردگی-رورانندی زاگرس به طول 2000 کیلومتر با میداین هیدروکربوری بسیار عظیم خود پربارترین کمربند چین‌خوردگی-راندگی جهان می‌باشد. میدان نفتی مارون یکی از بزرگترین میداین نفتی جنوب غرب ایران محسوب می‌شود که در شمال‌شرق شهر اهواز و از لحاظ زمین‌شناسی در قسمت شرقی حوضه فروافتاده دزفول شمالی قرار گرفته است. سازند آسماری مهم‌ترین سنگ مخزن میدان مارون می‌باشد. تنش برجا در یک میدان هیدروکربوری از چند زیرمجموعه اساسی جهت مطالعه و بررسی تشکیل شده است که شامل حالت تنش، مقدار و جهت مؤلفه‌های تنش نسبت بهم می‌باشد. یکی از نمود مطالعه تنش برجا در میداین هیدروکربوری، استفاده از نتایج آن در علم نوین ژئومکانیک مخازن می‌باشد که در حل مشکلاتی همچون ناپایداری دیواره چاه به هنگام حفاری، انتخاب مسیر ایمن حفاری، آسیب لوله‌های جداری، روش‌های مختلف افزایش تولید و ... دارای نقشی اساسی است. در این پژوهش به بررسی عملکرد شکستگی‌ها و مشخص نمودن یکی از بخش‌های مطالعه تنش برجا، یعنی جهت تنش‌های تکتونیکی (افقی) در سازند مخزنی آسماری میدان نفتی مارون پرداخته شد. برای تعیین و آنالیز جهت تنش برجا، استفاده از نمودارهای تصویرگر بهترین و کامل‌ترین روش بوده و لذا نتایج تفسیر نمودارهای تصویرگر 19 حلقه چاه مورد بررسی قرار گرفت. همچنین بدلیل اهمیت تنش افقی حداقل در اکثر زمینه‌های کاربردی ژئومکانیک مخازن سعی بر تمرکز بیشتر بر این مؤلفه تنش برجا شد و روشن است که جهت تنش افقی حداکثر عمود بر تنش افقی حداقل می‌باشد. در نهایت مشخص شد بدلیل پیچیدگی ساختمانی میدان مارون و تمرکز تنش در دماغه‌ها جهت تنش برجا دچار جابجایی‌های شده اما در سایر نقاط جهت تنش افقی حداقل دارای روند NW-SE تعیین گردید. براساس نقشه‌های امتداد شکستگی و لایه‌بندی در نواحی واقع در پال جنوبی میدان در محل چاه‌های 181، 341، 322 و چاه 278 در دماغه شرقی امتداد شکستگی‌های غالب جهت N130E، جزء دسته شکستگی‌های طولی کششی مشخص شدند در صورتی که در شمال و شمال شرق و مرکز هر دو دسته شکستگی‌های مرتبط با چین‌خوردگی و خمش دیده شد.

کلید واژه‌ها: شکستگی‌های طبیعی، جهت تنش برجا، ژئومکانیک مخازن، ناپایداری دیواره چاه، نمودارهای تصویرگر، میدان نفتی مارون.

Effects Deliberation of Fractures and Determination of in-situ Stress in Asmari Reservoir Formation in Marun Oilfield (Based on Image Logs Interpretation Results)

Mahdevar^{1*}, M.R., Farsimadan¹, M., Kamalit Z².

^{1*} Structural and reservoir geologist at National Iranian South Oil Company(NISOC)

² PHD student, Department of geology, School Science, University of Birjand, Birjand, Iran

Abstract:

Zagros Fold-Trust belt with 2000 km length and its hydrocarbon reservoirs is the richest fold-trust belt in the world. Marun Oilfield is one of the biggest reservoir in south-west of Iran and north-east of Ahwaz city also in north Dezful embayment. Asmari Formation is the most important reservoir in Marun oilfield. Nowadays, knowledge about state, magnitude and in-situ stress direction in different studies of Oil and gas reservoir like geology, drilling and petroleum engineering is cleared. Study of in-situ stress in hydrocarbon reservoirs is divided to some part like state of stress, magnitude and the direction of stress tensors from each other. One of the advantages of stress study in hydrocarbon reservoir is usage these results in reservoir geomechanics that could solves some problems like wellbore instability during drilling, choosing safe trajectory, casing failure, different methods of reservoir stimulation, have an important role. This research was paid to review and determination of in-situ stress direction in Asmari reservoir formation in Marun Oilfield. For Analysis of in-situ stress direction, the result of image logs is the best way to use and so 19 wells became candidate. Also on this research, because of the importance on most of reservoir geomechanics applications, minimum horizontal stress direction was in focus. Finally, because of structural complexity and stress concentration in the ends of Marun structure, it determined that in-situ stress direction was changed but in other places has the strike of NW-SE. If both the north and north-east and centre fractures are associated with folding and bending seen, based on maps along fracture zones located on the southern limb of the layer at wells No. 181, 341, 322 and 278 in the eastern cape of along the dominant fracture orientation E130N, except those marked the longitudinal tensile fractures.

Keywords: Natural Fractures, In-situ stress direction, Reservoir Geomechanics, Wellbore Instability, Image Logs, Marun Oilfield.

1- مقدمه:

Gough, 1979). این دو ناپایداری زمانی که تمرکز تنش در دیواره چاه از مقاومت چاه بیشتر شود ایجاد می‌شوند. بدین صورت که شکستگی‌های کششی-القایی و خردشدگی‌ها هنگامی رخ می‌دهند که مقدار تنش در دیواره چاه به ترتیب از مقاومت کششی و مقاومت فشاری سنگ‌ها بیشتر شوند. جهت شکستگی‌های کششی-القایی و خردشدگی‌ها به ترتیب نشان‌دهنده جهت تنش افقی حداقل (S_{Hmin}) و تنش افقی حداکثر (S_{Hmax}) می‌باشد (Plumb and Cox., 1987). خردشدگی‌ها در دیواره چاه از طریق چاه‌نمودارهای تصویرگر⁸ و کلیپر⁹ قابل شناسایی و بررسی هستند (Peska and MD.Zoback., 1995)، در صورتی که شکستگی‌های کششی-القایی فقط با چاه نمودارهای تصویرگر قابل شناسایی می‌باشند (Brudy and MD.Zoback., 1993). با بررسی شکستگی‌های کششی-القایی و خردشدگی می‌توان جهت و مقدار تنش‌های افقی حداقل و افقی حداکثر را تعیین کرد. در این پژوهش، ناپایداری دیواره در برخی چاه‌های میدان مارون جهت تعیین جهت تنش‌های تکتونیکی با استفاده از نمودارهای تصویرگر مورد بررسی قرار گرفت. تعداد چاه‌هایی که در میدان دارای نمودار تصویرگر هستند 27 حلقه می‌باشد که با توجه به نوع و کامل بودن داده‌ها از اطلاعات 19 حلقه چاه جهت انجام این پژوهش استفاده شد.

2- زمین‌شناسی و موقعیت زمین ساختی منطقه مورد مطالعه:

کمر بند چین خوردگی-رورانگی زاگرس که به طول 2000 کیلومتر از جنوب شرق ترکیه به طرف شمال عراق و سوریه، تا غرب و جنوب ایران گسترش یافته است و با میداین هیدروکربوری بسیار عظیم خود پربارترین کمر بند چین خوردگی-رانندی جهان

تنش برجا از سه جزء تنش قائم (S_v)، تنش افقی حداقل (S_{Hmin}) و تنش افق حداکثر (S_{Hmax}) تشکیل شده که در یک عمق خاص هر سه بصورت عمود برهم به سنگ اعمال می‌شوند. سنگ‌های قرار گرفته در اعماق زمین تحت تنش برجا با مقدار بسیار بالا حتی چندین برابر مقاومت فشاری تک‌محوری خود قرار دارند. با انجام حفاری، توزیع و همچنین مقدار تنش برجا از حالت اولیه تغییر می‌کند و در اطراف چاه دچار اغتشاش خواهد شد (Jaeger and Cook., 1979). این بهم‌ریختگی تنش در دیواره چاه، سبب بروز مشکلاتی همچون ناپایداری دیواره چاه¹، تنگ‌شدگی چاه²، ایجاد شکستگی‌های کششی-القایی³ و خردشدگی⁴ در دیواره چاه و حرکت خزشی لایه‌های نمکی به سمت چاه خواهد شد. به همین علت، داشتن اطلاعات کافی از مقدار و جهت تنش در حین و پس از عملیات حفاری، به خصوص در مناطقی که تمرکز تنش بسیار بالاست، ضروری می‌باشد. از مزایای دانستن و تعیین تنش برجا قبل و بعد از حفاری می‌توان به تعیین فشار بهینه گل⁵، انتخاب بهترین مسیر حفاری⁶ جهت دار به منظور کاهش ریسک و هزینه‌های نگهداری چاه، بررسی پدیده میچاله شدن⁷ و برش لوله‌های جداری، پایداری دیواره چاه و طراحی مته مناسب به منظور حفاری چاه‌های بعدی، انتخاب لوله‌های جداری مناسب، جلوگیری از تولید ماسه و ریزش دیواره چاه، انتخاب استراتژی مناسب جهت تکمیل چاه و همچنین میزان برداشت مخزن اشاره داشت (فارسی‌مدان، م، 1389). شکستگی‌های کششی-القایی و خردشدگی‌ها هر دو نشانه‌هایی از ناپایداری در دیواره چاه می‌باشد (Bell and

¹. Wellbore Instability

². Tight Hole

³. Drilling-Induced Tensile Fracture

⁴. Breakout

⁵. Optimum Mud Weight

⁶. Optimum Trajectory

⁷. Casing Collapse

⁸. Image Log

⁹. Caliper

است. این کمر بند به وسیله فروافتادگی دزفول، به دو ایالت فارس و لرستان تقسیم می‌شود. تغییرات ساختاری و توپوگرافی باعث تقسیم بندی این کمر بند به دو قلمرو با روندهای SW, NE شده است (Agard, 2011). این دو قلمرو به ترتیب شامل:

- 1- کمر بند پیش خشکی زاگرس چین خورده تا محدوده خلیج فارس بصورت چین‌هایی با طول موج صدها کیلومتر بصورت نسبتاً منظم ادامه یافته است (Falcon' 1974, Sepehr and Cosgrove 2004., Mouthereau et al., 2006)، همچنین شامل چندین گسل اصلی پنهان می‌باشد (Berberian 1995, Leturmy et al., 2010).
- 2- زاگرس مرتفع (HZ)، این قلمرو ارتفاع بیشتری نسبت به کمر بند چین خورده دارد. (شکل 2).

3- بحث:

برای شناسایی و تشخیص شکستگی‌های طبیعی از شکستگی‌های ناشی از عملیات حفاری از پارامترهای تفسیر در نمودارگیری تصویری استفاده شده است. به این علت که شکستگی‌های مخزن را به موازات روند شکستگی‌های موجود در چاه فرض کرده لذا متمایز کردن شکستگی‌های طبیعی از شکستگی‌های ناشی از عملیات حفاری، امری بسیار مهم است. شکل (3) مولفه‌های نیروهای وارده بر دیواره چاه در هنگام حفاری را نشان می‌دهد (Tom, 1999). در تحلیل شکستگی‌های حاصل از عملیات حفاری این دسته از شکستگی‌ها به موازات تنش افقی حداکثر و به صورت عمودی می‌باشند. سطوح این دسته از شکستگی‌ها ناصاف و فاقد هرگونه عوارض حاصل از انحلال است. این شکستگی‌ها در صورتی که محور چاه به موازات یکی از تنش‌های اصلی باشد حالت کاملاً عمودی و در غیر اینصورت حالت دنداندار به خود می‌گیرند که به شکستگی‌های پله‌ای معروف هستند. شکستگی‌های پله‌ای 2 و شکستگی‌های طبیعی تصاویر مشابهی روی

می‌باشد. این کمر بند یکی از نتایج تغییر شکل‌های ساختمانی سیستم حاشیه‌ای زاگرس است که نماد امروزه آن حوضه‌های بین‌النهرین قاره‌ای و خلیج فارس دریایی و نهشته‌های بطور عمده فلات قاره‌ای و سکویی قاره‌ای واقع در پیش خشکی¹ می‌باشد. فروافتادگی دزفول قسمتی از کمر بند چین خورده زاگرس، و جنوب خوزستان واقع شده است. این ناحیه وسعتی با حدود شصت هزار کیلومتر با 45 میدان نفتی می‌باشد، که میزان ذخیره نفتی این میدان 3 میلیارد بشکه یعنی در حدود 8 درصد کل ذخیره نفتی جهان می‌باشد. فروافتادگی دزفول بوسیله گسل بالا رود در ناحیه شمال-شمال غرب و جبهه کوهستان در شمال شرق-شرق و گسل اصلی کازرون در شرق-جنوب شرق محدود گشته است.

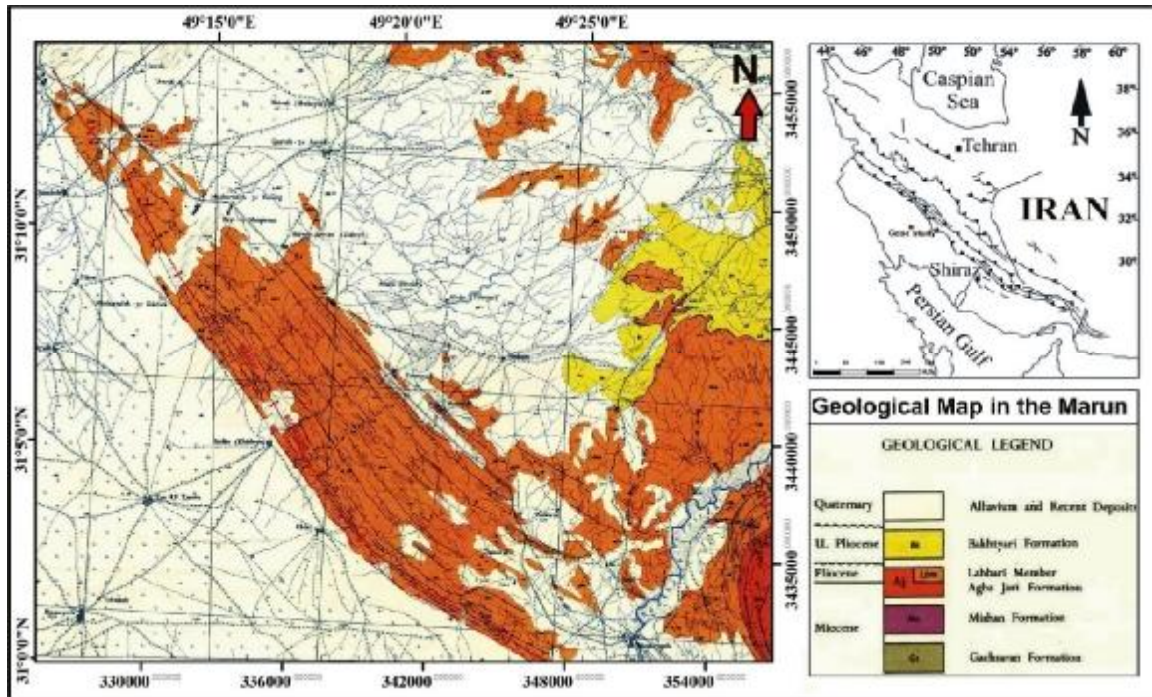
رخنمون سطحی میدان مارون سازند آغاچاری بوده، و همچنین سازندهای آسماری، گروه‌های بنگستان و خامی، مخازن نفتی موجود در این میدان یافت می‌شوند (شکل 1). سازند آسماری مهم‌ترین سنگ مخزن این میدان بوده که به پنج لایه مخزنی تقسیم شده است. لایه‌های مخزنی یک، دو، سه عمدتاً از کربنات‌های دولومیتی تشکیل شده بنابراین تراکم شکستگی‌ها بخصوص در زون یک (90 درصد دولومیت) بیشتر می‌باشد. در لایه‌های مخزنی چهار و پنج این میدان به دلیل افزایش لایه‌های شیلی مارنی و کاهش شکنندگی، شکستگی‌ها از گسترش کمتر برخوردار بوده و بیشتر شکستگی‌های میکروسکوپی دیده می‌شود. سیستم لایه‌بندی در این تاقدیس‌ها دارای شکستگی‌های فراوان حاصل از چین خوردگی نئوژن زاگرس می‌باشد. منطقه مورد مطالعه در کمر بند پیش خشکی زاگرس چین خورده واقع شده است (Sarkarinejad and Ghanbarian., 2014). کمر بند پیش خشکی زاگرس چین خورده موازی کمر بند پیش خشکی زاگرس رانده

². En-echelon Fractures

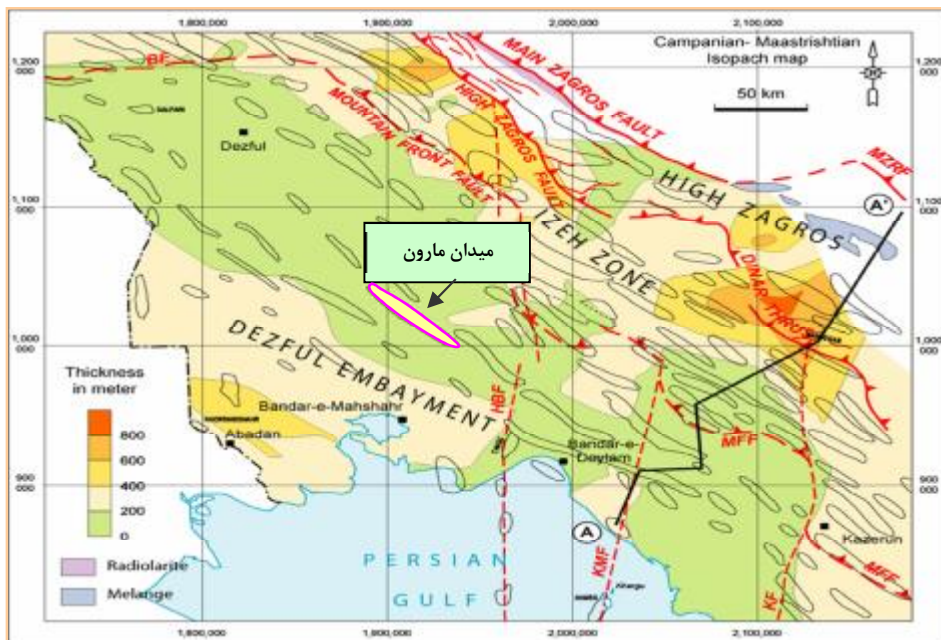
¹. Foreland

های حاصل از شکستگی طبیعی است که در مورد شکستگی های پله ای این امر صدق نمی کند.

نمودارهای تصویرگر دارند که موجب اشتباه گرفتن آنها با یکدیگر می شوند. تنها راه مناسب برای تشخیص آنها از هم منطبق ساختن یک موج سینوسی بر روی یال



شکل 1. نقشه زمین شناسی منطقه مارون (اقتباس از نقشه 1/100000 شرکت ملی نفت، 1966)



شکل 2. موقعیت میدان مارون در ارتباط با میادین مجاور در فروافتادگی دزفول. HBF: گسل هندیمان - بهرگانسر (Sherkati, 2004).

ابزارهای تصویربرداری از دیواره چاه که بر مبنای اندازه‌گیری مقاومت می‌باشند در میانه دهه 1980 ارائه گردید که تکامل ابزارهای شیب سنج با کیفیت بالا (میکرو الکترودها) و نمودارهای جانبی (ماکرو الکترودها) را به نمایش می‌گذاشت (Prensky, 1990). توصیف ساختمانی در ساختارهای بسیار پیچیده تنها با استفاده از داده‌های لرزه‌ای به علت سازندهای تغییر شکل یافته چالش برانگیز است.

از این رو تصاویر دیواره چاه به سرعت به عنوان مولفه‌ای با اهمیت فزاینده در تفسیر و تجزیه و تحلیل ساختمانی الگوی شکستگی‌ها در مخازن پذیرفته شد. نمودارهای تصویری که نتیجه نهایی این ابزارها هستند وسیله ارزشمندی در تفسیر ساختمانی و رسوب‌شناسی داده‌های چاه می‌باشند. نتایج تفسیر تصاویر چاه بدون جداره، شناسایی کیفی و توصیف کمی لایه‌بندی، شکستگی‌ها، عوارض صفحه‌ای، سنگ‌شناسی و حفرات است. زمانی که مغزه در دسترس باشد عوارض شناسایی شده بر روی تصاویر حاصل از نمودار می‌توانند با آن تطابق داده شوند یا کالیبره (درجه‌بندی) گردند و در زمانی که مغزه موجود نباشد این تصاویر به عنوان یک جایگزین به کار می‌روند (شکل 5).

مهم‌ترین پارامتر پدیده ریزش دیواره چاه¹ در مطالعات زمین‌شناسی ساختمانی زیرسطحی جهت‌گیری میدان نسبت به تنش‌های کنونی می‌باشد. تنش‌هایی که بر دیواره چاه عمل می‌کنند، شامل فشار سیال در درون چاه به عنوان تنش شعاعی، تنش محوری²، تنش مماسی³، تنش‌های برشی⁴ که حد واسط تنش‌های محوری و مماسی می‌باشد. جهت طبقه‌بندی شکستگی‌های مرتبط با حفاری و متمایز کردن آنها از شکستگی‌های طبیعی به شرح مختصری از شرایط تشکیل آنها در موقعیت‌های متفاوت چاه حفاری شده می‌پردازیم (شکل 4).

یکی از مهم‌ترین منابع برای مطالعه خصوصیات مخازن زیرسطحی استفاده از نمودارهای تصویرگر می‌باشد، زیرا به دلایل مختلف بسیاری از چاه‌ها یا فاقد مغزه هستند یا مغزه آنها بدلیل بازیافت پائین چندان قابل مشاهده نمی‌باشند. این امر بخصوص در مخازن شکسته مانند مخازن کشورمان بسیار صدق می‌کند علاوه بر این مغزه‌های گرفته شده غیرجهت‌دار هستند که قادر به تعیین جهت و امتداد سطوح لایه‌بندی، شکستگی‌ها و گسل‌های احتمالی نمی‌باشند.

اولین نمونه از این ابزارهای تصویرگر در دهه 1950 معرفی شد که دوربین‌های عکس برداری برای استفاده در چاه بود به دنبال این در میانه دهه 19 ابزارهای تلویزیونی رو به پائین چاه و در انتهای این دهه اولین ابزار صوتی تصویربرداری BHTV⁵ معرفی گردید (Prensky, 1999).

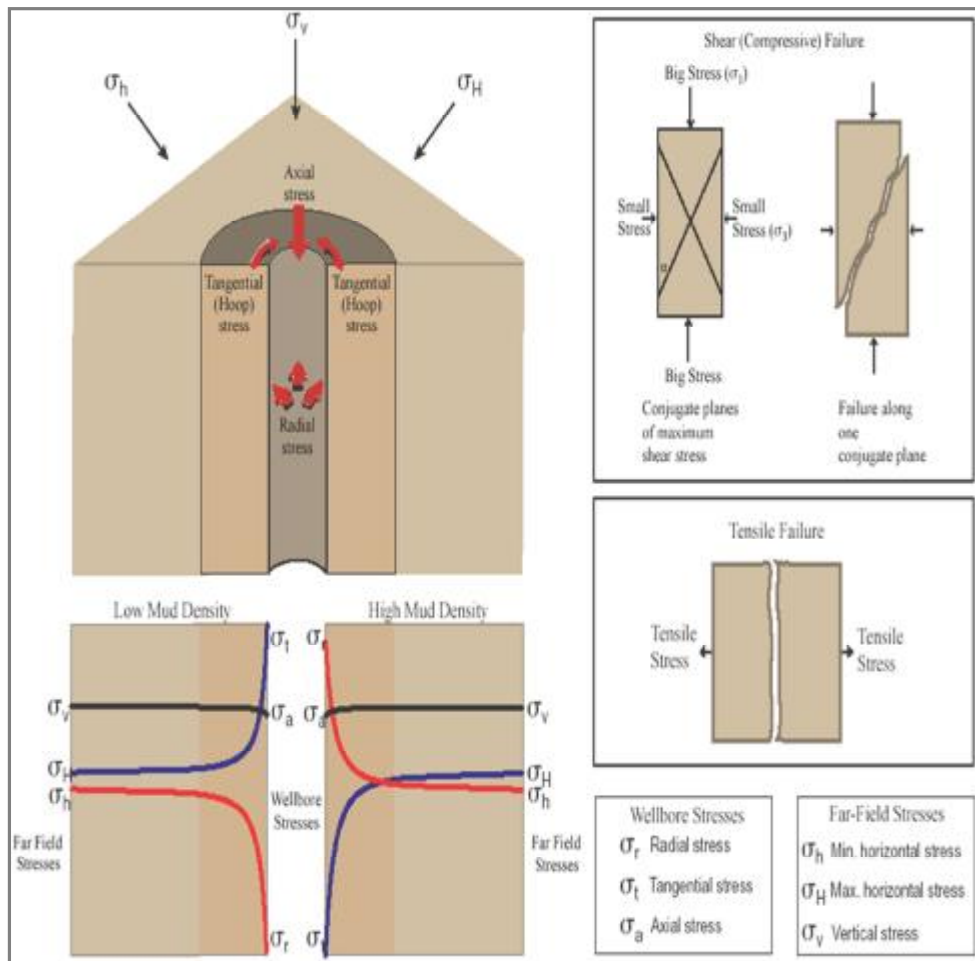
¹ . Breakout

² . Axial stress

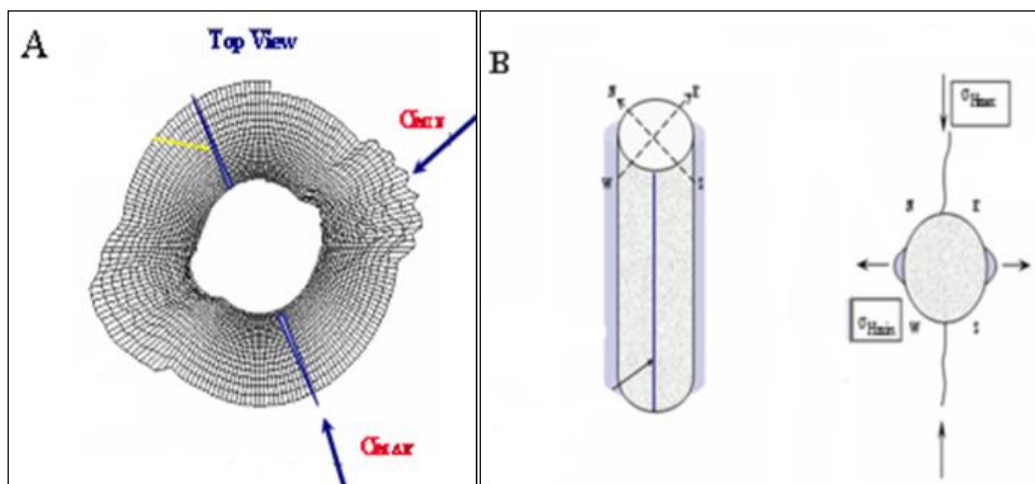
³ . Tangential

⁴ . Shear stress

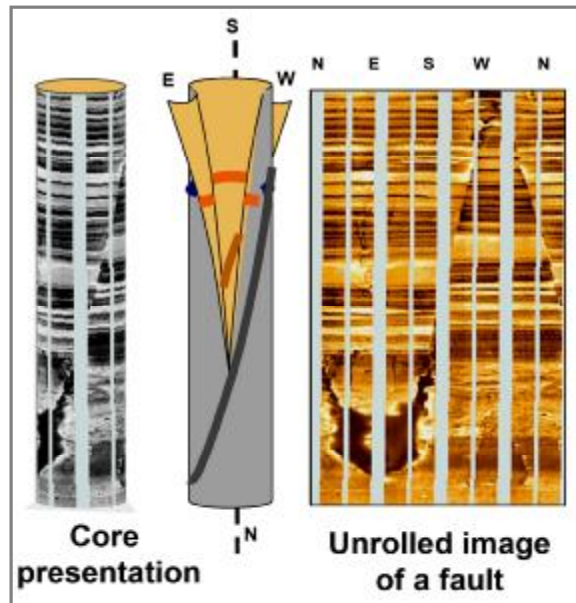
⁵ . Borehole Televiewer



شکل 3. نمایش مولفه‌های نیروهای وارده بر دیواره چاه در هنگام حفاری (Tom, 1999).



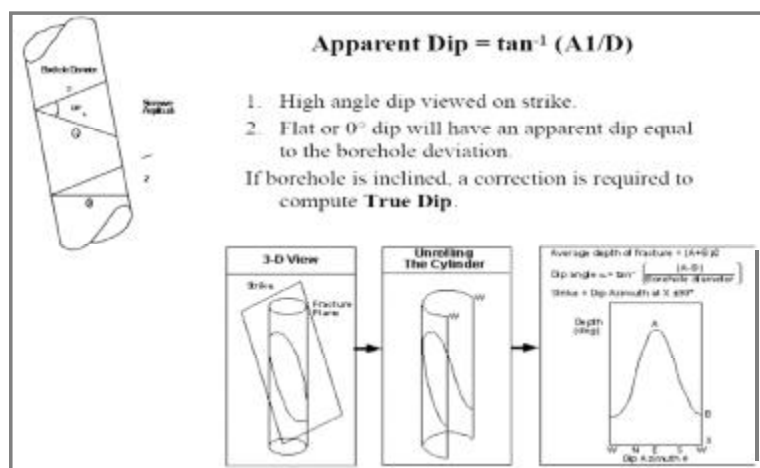
شکل 4. نمایش موقعیت تنش‌های اصلی وارده بر دیواره چاه در حال حفاری (شکل‌های A, B).



شکل 5. نمایش تصویر دیواره چاه و طریقه محاسبه تعیین جهت پدیده‌های مشاهده شده در دیواره چاه و مقایسه با نمونه مغزه (Schlumberger, 2003).

شیب دارند که به صورت منحنی سینوسی شکل تظاهر می‌یابند. دامنه این منحنی سینوسی تابعی از زاویه شیب است به شکلی که در یک چاه بدون انحراف، بزرگی شیب متناسب با دامنه سینوسی است و آزیموت شیب نیز به سمت پائین ترین نقطه موج سینوسی شکل قرار می‌گیرد (شکل 6).

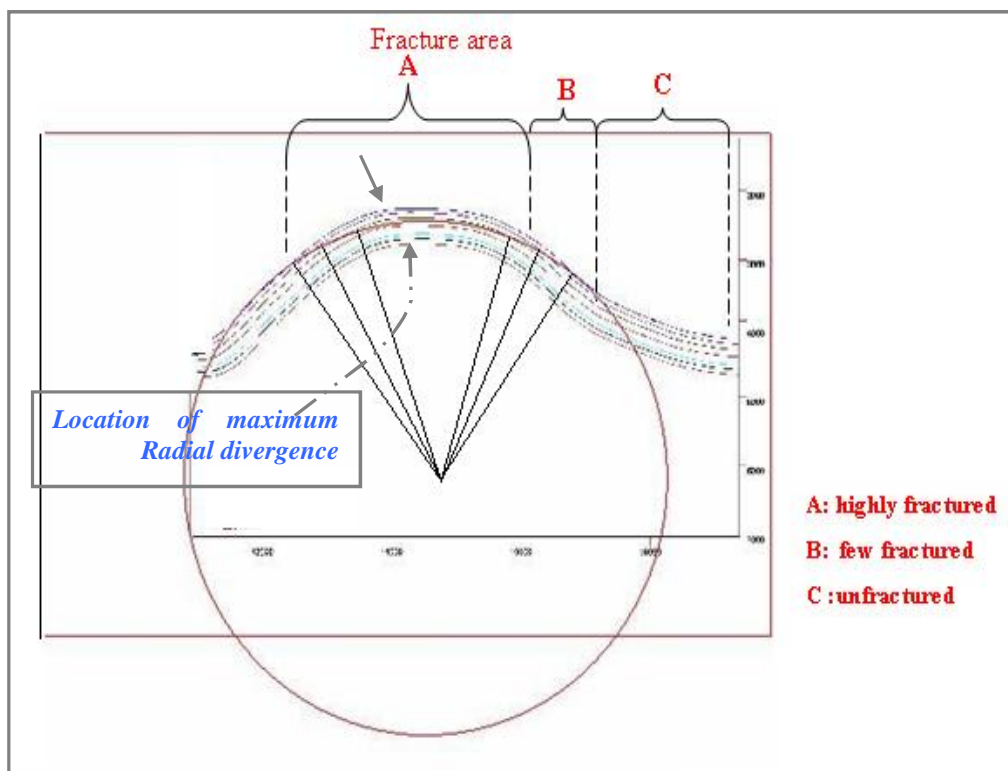
نمایش دو بعدی تصاویر الکتریکی و صوتی دیواره چاه به شکل یک سیلندر باز شده می‌باشد که از شمال مغناطیسی (N) شکاف داده شده است. در این تصاویر عوارض صفحه‌ای (برای مثال مرزهای لایه‌بندی، گسل‌ها و شکستگی‌ها) که دیواره استوانه‌ای شکل چاه را با زاویه ای نسبت به افق قطع می‌کنند یعنی یک مولفه



شکل 6. نمایش دو بعدی از روش محاسبه مقدار شیب شکستگی‌ها در چاه حفاری با استفاده از نمودارهای تصویری (Schlumberger, 2003).

می‌گردد، مناطق با شکستگی کم در نظر گرفته می‌شوند که در آنها شکستگی‌های کششی محدود به رأس ساختمان می‌گردند (شکل 7). در پایان با مشخص کردن محل تقاطع دایره محاطی با سرسازند آسماری و تعیین فاصله افقی این نقاط تقاطع از یک مبدأ معین (در این تحقیق از منحنی تراز 3900 متری زیر سطح دریا در نقشه کنتور زیر سطحی (U.G.C) سازند آسماری میدان مارون به عنوان مبدأ استفاده شده است) میزان گسترش افقی و عمودی شکستگی‌ها مشخص گردیده و به صورت یک نقشه خطوط تراز اجراء شده بر روی یک نقشه پایه نمایش داده می‌شود. دو محدوده مستعد شکستگی نواحی یال‌های جنوبی بخش‌های مرکزی به سمت انتهای غربی و محدوده دیگر در یال شمال شرقی و بخش شرقی قرار گرفته گسترش شکستگی‌ها را در لایه‌های مخزنی نشان می‌دهد (شکل 8).

جهت بررسی تغییرات خمش لایه‌بندی و خمش محوری از دو روش مشتق دوم نقشه ساختمانی زیر سطحی سازند آسماری و روش تحلیل دایره محاطی استفاده شد که نخستین بار شرکت نفتی (Intera, 1992) از روش دایره محاطی به منظور مطالعه گسترش شکستگی‌ها در مخزن آسماری میدان مارون استفاده نمود. عملکرد دایره محاطی شامل ترسیم مقاطع عرضی ساختمانی بصورت عمود بر محور چین‌خوردگی در نقشه‌های هم‌تراز زیرزمینی می‌باشد سپس دوایری مماس بر نقاط عطف تاقدیس در مقاطع ساختمانی را ترسیم کرده و مناطقی که تفاوت در جدایش شعاعی بین دایره محاطی و ساختمان نشان می‌دهند بیانگر میزان تغییرات در انحنا ساختمان بوده و نشان دهنده حداکثر انحنا و در نتیجه حداکثر تراکم شکستگی مرتبط با آن است. مناطقی که دایره محاطی مماس بر رأس سازند



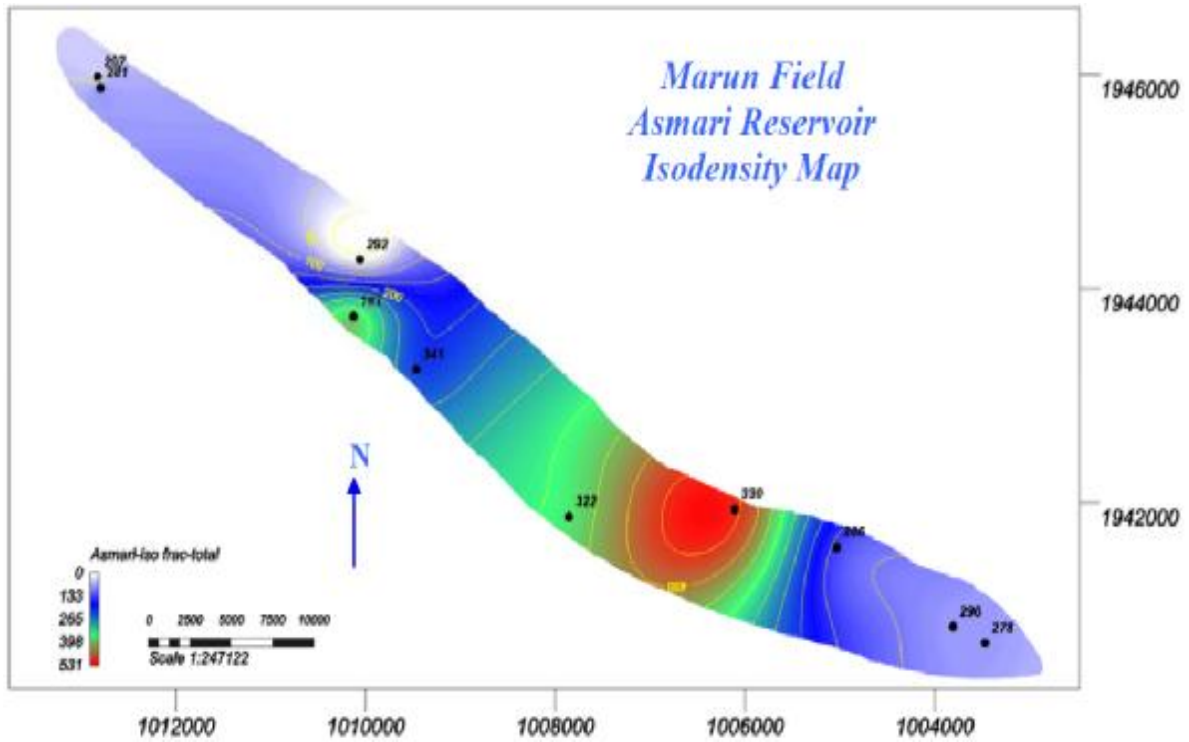
شکل 7. چگونگی ترسیم و محاسبه میزان تغییرات انحنا به روش دایره محاطی در میدان مارون (Intera Company, 1992).

3-1- بررسی جهت شکستگی‌ها:

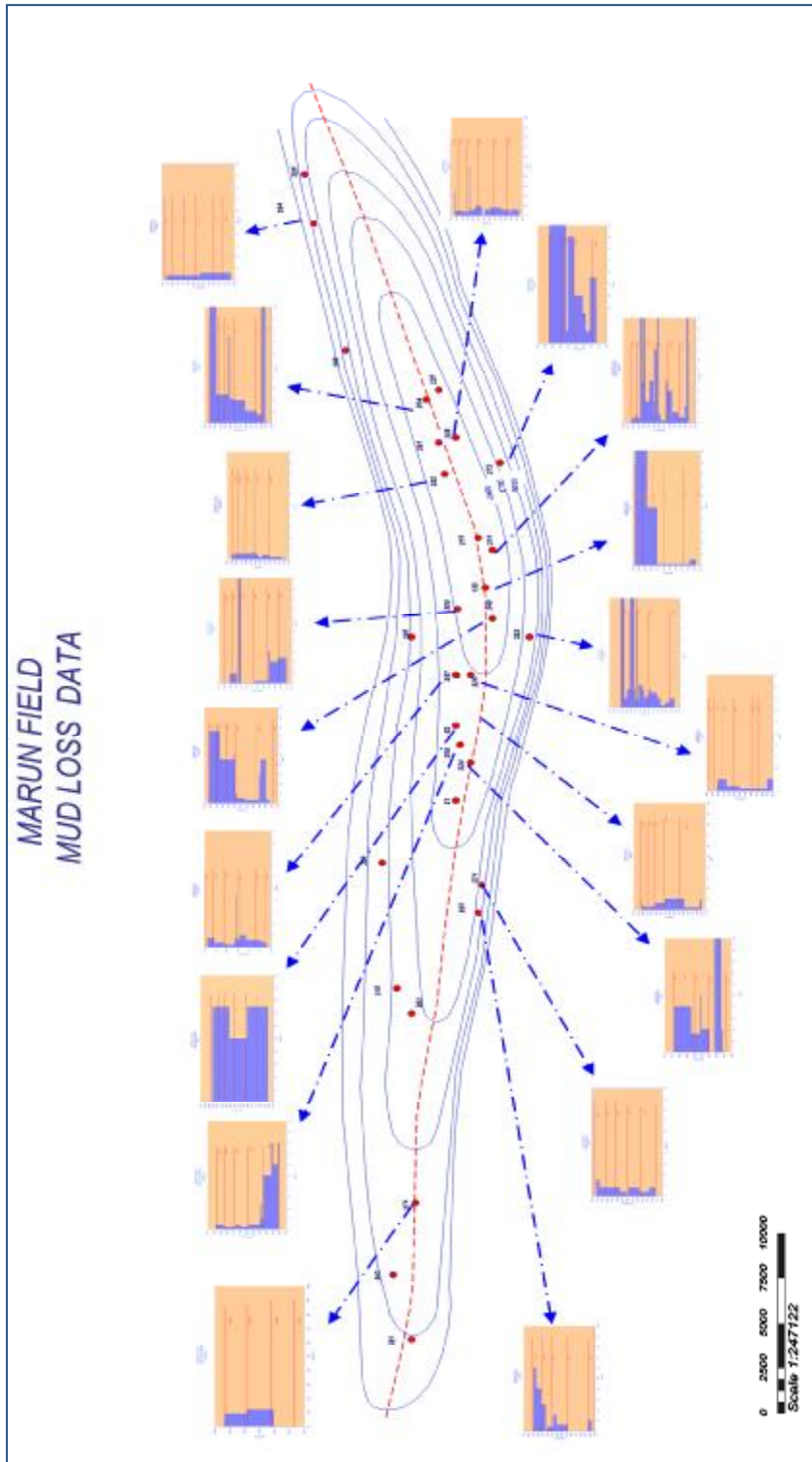
در این تحقیق از اطلاعات نمودارهای تصویری 12 حلقه چاه، در مخزن آسماری استفاده شد چاه‌های 278، 281، 286 دارای نمودار تصویری CAST بوده که کیفیت اطلاعاتی پایینی را بخصوص در چاه 286 دارا می‌باشند. با این حال از این نوع داده‌ها بیشتر جهت تعیین روندهای غالب شکستگی‌ها استفاده گردید. نقشه‌های هم تراکم شکستگی‌های¹ سازند آسماری تهیه گردید (شکل 9). براساس نقشه‌های امتداد شکستگی و لایه‌بندی در نواحی واقع در یال جنوبی میدان در محل چاه‌های 181، 341، 322 و چاه 278 در دماغه شرقی امتداد شکستگی‌های غالب جهت N130E، جزء دسته شکستگی‌های طولی کششی مشخص شده‌اند. در صورتی که در شمال و شمال شرق و مرکز هر دو دسته شکستگی‌های مرتبط با چین خوردگی و خمش دیده می‌شود. به طوری که در چاه‌های 330، 286 و 296 دسته شکستگی‌های غالب از نوع کشش طولی² و عرضی³ عمود بر لایه‌بندی و متقاطع⁴ دیده می‌شود که نشان

دهنده وجود دو سیستم موثر چین خوردگی و خمش می‌باشد. شکستگی‌های شرقی-غربی که بیشتر در دماغه غربی در محل چاه‌های 281 و 297 و در محور ساختمان در بخش مرکزی محل چاه 305 و در یال شمالی چاه 286 و در محل چاه 278 در دماغه شرقی و چاه 181 در یال جنوبی ساختمان دیده می‌شوند. به نظر می‌رسد این شکستگی‌ها در ارتباط با فعالیت‌های سیستماتیک ناحیه ای بوده باشند. تغییرات جانبی توسعه شکستگی‌ها از محور به سمت یال‌ها بوده (براساس تفسیر نمودارهای تصویری در چاه‌ها) به طوری که در ناحیه خمش تحت تأثیر فشارش بیشتر شکستگی‌های تراکمی دیده می‌شود (نواحی مرکزی و شمال شرقی محل چاه‌های 330 و 286) در صورتی که به سمت خارج انحنای تحت تأثیر نیروی کششی شکستگی‌های طولی و بزرگ ایجاد می‌شود. (در یال جنوبی در محل چاه‌های 181، 341 و 322) بنابراین مراحل تکاملی تشکیل ساختار با توجه به فشار وارده می‌تواند از عوامل کنترل شکستگی در مخزن باشد (شکل 10).

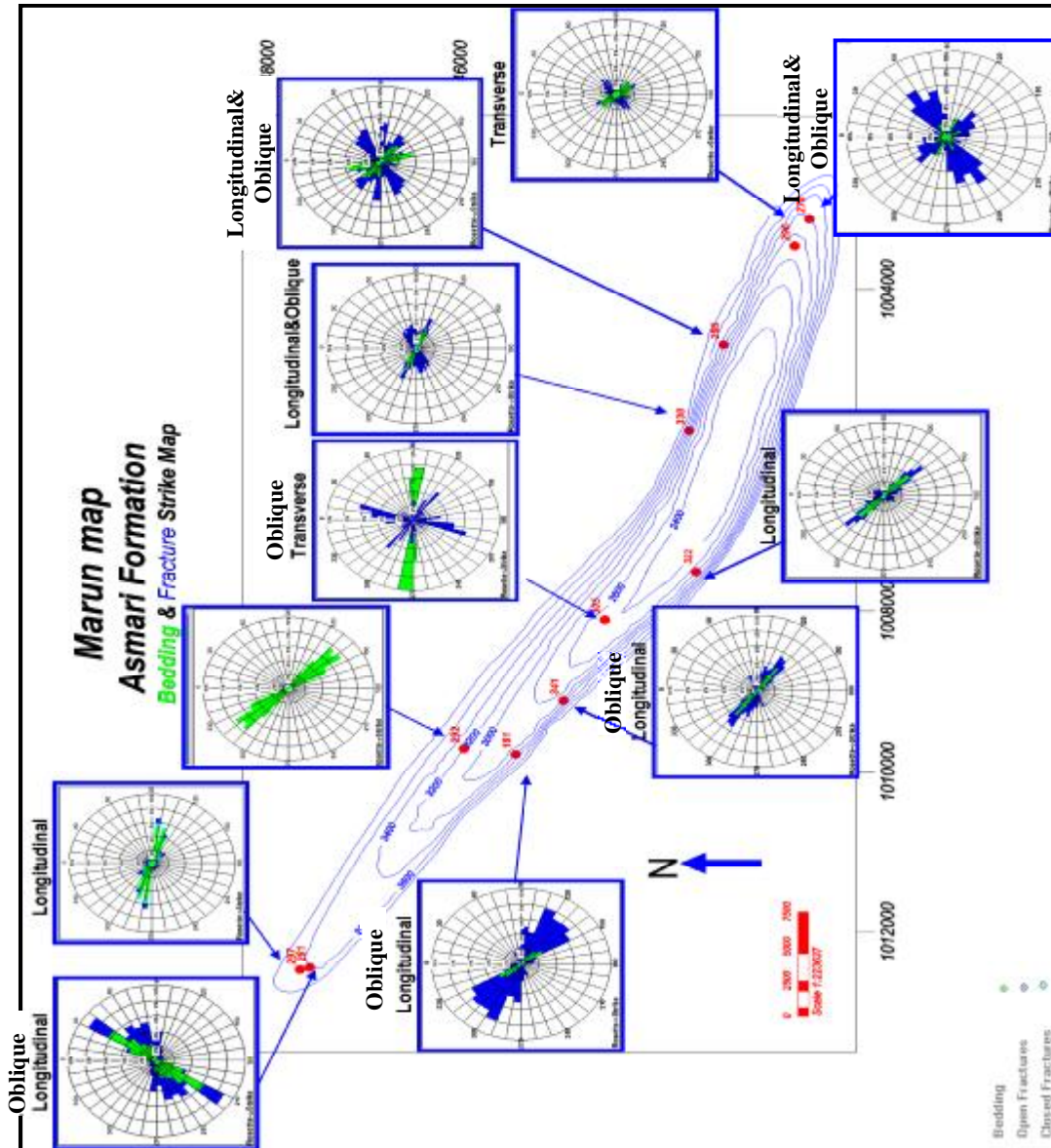
1. Isodensity
2. Longitudinal
3. Transverse
4. Oblique



شکل 8. نقشه هم تراکم شکستگی‌های سازند آسماری در چاه‌های میدان مارون. فراوانی بالای شکستگی‌ها در منطقه خمش ویال جنوب غربی با حداکثر 531 عدد مشخص شده است.



شکل 9. نقشه دیاگرام هرزروی گل حفاری در ساعت، در چاه های مخزن آسماری میدان مارون. مناطق آبی رنگ هرزروی گل را نمایش می دهند. همخوانی احتمالی مناطقی با هرزروی بالا، می تواند بدلیل افزایش لایه های شیلی و ماسه ای در قسمت های مختلف ساختمان می باشد.



شکل 10. نمایش امتداد غالب لایه بندی (سبز) و شکستگی های (آبی) مخزن آسماری در چاه های حفاری شده میدان مارون با استفاده از اطلاعات نمودار های تصویرگر

3-2- تحلیل تنش در اطراف یک چاه قائم:

وقتی که حفاری صورت می گیرد در حقیقت میدان تنش را در منطقه محل حفاری بهم می ریزد، چاه که یک منطقه کم فشار محسوب می شود در داخل سازند پرفشار حفاری شده است با توجه به اینکه در عمق که تمامی منافذ با سیالات پر شده است در نتیجه فشار هیدروستاتیک نقش اصلی در تغییر شکل اطراف چاه بازی می کند. با توجه به اینکه همیشه سیالات تمایل

دارند از محل پرفشار به محل کم فشار حرکت کنند. این پدیده باعث تغییر تنش برجا می شود. با فرض اینکه S_v تنش اصلی قائم است، پس تنش های مؤثر ($S_{ij} = S_{ij} - d_{ij} P_p$) در اطراف چاه قائم به شعاع R در دستگاه مختصات استوانه ای براساس فرمول معروف کرش (Kirsch) مطابق روابط زیر است (Nelson et al, 2005):

$$S_{qq} = \frac{1}{2}(S'_{H \max} + S'_{h \min})(1 + \frac{R^2}{r^2}) - \frac{1}{2}(S'_{H \max} + S'_{h \min})(1 + 3\frac{R^4}{r^4})\cos 2q - \frac{\Delta PR^2}{r^2} \quad (1)$$

$$S_{rr} = \frac{1}{2}(S'_{H \max} + S'_{h \min})(1 - \frac{R^2}{r^2}) + \frac{1}{2}(S'_{H \max} - S'_{h \min})(1 - 4\frac{R^2}{r^2} + 3\frac{R^4}{r^4})\cos 2q + \frac{\Delta PR^2}{r^2} \quad (2)$$

$$t_{rq} = \frac{1}{2}(S'_{H \max} + S'_{h \min})(1 + 2\frac{R^2}{r^2} - 3\frac{R^4}{r^4})\sin 2q \quad (3)$$

$$S_{zz} = S'_v - 2u(S'_{H \max} - S'_{h \min})\cos 2q - P_p \quad (4)$$

1. تنش مؤثر شعاعی S_{rr} که عمود بر چاه عمل می‌کند.

2. تنش محوری مؤثر S_{zz} که موازی با محور چاه عمل می‌کند.

3. تنش مماسی مؤثر S_{qq} که عمود بر صفحه S_{rr} و S_{zz} می‌باشد.

4.

$$\sigma_{\theta\theta} = (S'_{H \max} + S'_{h \min}) - 2(S'_{H \max} - S'_{h \min})\cos 2\theta - \Delta P \quad (5)$$

$$\sigma_{rr} = 0 \quad (6)$$

$$\sigma_{zz} = S'_v - 2v(S'_{H \max} - S'_{h \min})\cos 2\theta - P_d \quad (7)$$

که t_{rq} تنش برشی شعاعی، u نسبت پواسون ΔP اختلاف فشار گل و فشار منفذی ($P_w - P_p$) و q زاویه‌ای است که از آزیموت $S_{H \max}$ اندازه‌گیری می‌شود. سه تنش اصلی موجود در دیواره چاه مطابق شکل (11) به صورت زیر می‌باشند:

اگر در رابطه 5 مقدار q صفر و 90 در نظر گرفته شود یعنی به ترتیب آزیموت تنش حداکثر ($S_{H \max}$) و حداقل ($S_{h \min}$) روابط زیر به دست می‌آید.

$$q = 0 \Rightarrow S_q^{\min} = 3S_{h \min} - S_{H \max} - P_w - P_p \quad (8)$$

$$S_q^{\max} = 3S_{H \max} - S_{h \min} - P_w - P_p \Rightarrow q = 90 \quad (9)$$

شود، به اصطلاح خردشدگی، بازشدگی یا پوسته‌شدن دیواره مشاهده می‌شود که ناشی از شکست‌های فشاری می‌باشد. مقدار خردشدگی بر حسب زاویه بازشدگی اندازه‌گیری شده، که به آن عرض خردشدگی² می‌گویند (Tingay et al., 2008). ایجاد این

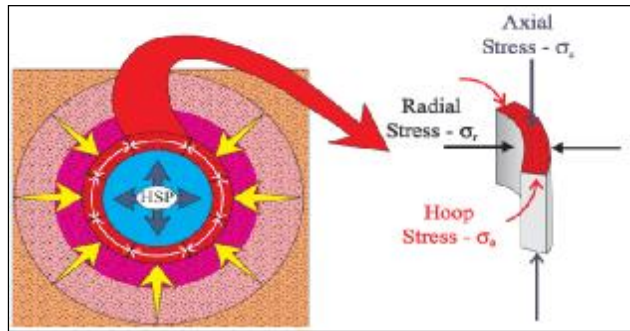
از روابط قبل می‌توان دریافت که حداکثر تمرکز تنش در $\theta = 90$ (آزیموت $S_{h \min}$) بدست می‌آید. اگر معادله حلقه تنش¹ برای رابطه (5) رسم شود (شکل 12) نقاط $q = 0$ و $q = 90$ به ترتیب منطبق بر حداکثر و حداقل تمرکز تنش می‌باشد. اگر چنانچه مطابق شکل (12) تمرکز تنش فراتر از مقاومت فشاری سنگ دیواره

² Breakout Width

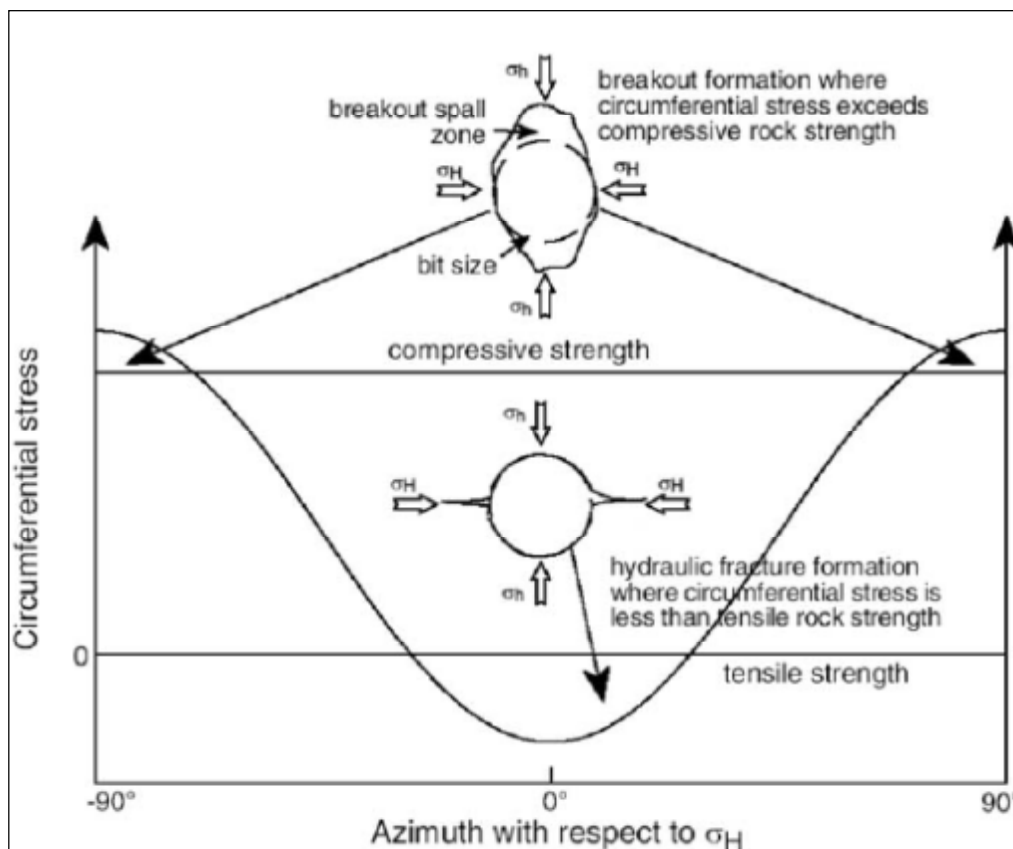
¹ Hoop stress

استفاده از این پدیده، عمودی بودن چاه حفاری شده و پائین بودن نرخ دگرریختی ساختمان با در نظر گرفتن ثابت بودن وزن گل حفاری می باشد.

شکستگی‌هایی القایی در دیواره چاه با در نظر گرفتن شرایطی خاص می تواند، نشان دهنده امتداد میدان تنش‌های اصلی کنونی هستند. دو شرط اساسی جهت



شکل 11. تبدیل تنش برجا به تنش القایی در یک چاه قائم شامل تنش‌های مماسی ($S_{\theta\theta}$)، محوری (S_{zz}) و شعاعی (S_{rr}).



شکل 12. نمودار حلقه تنش در اطراف چاه (Tinagay et al., 2008)

3-3- تحلیل ناپایداری‌های دیواره چاه:

از آنجا که شکستگی‌های کششی - القایی در راستای تنش افقی حداکثر و خردشدگی دیواره در راستای تنش افقی حداقل می‌باشند، بنابراین از این نوع شکستگی‌ها برای تعیین جهت تنش استفاده شده است (شکل 13). برای تعیین خردشدگی درون چاه، از چاه نمودارهای مختلف تصویرگر بکار گرفته شده است. تحلیل این نمودارها نشان می‌دهد که جهت تنش تابعی از عمق بوده و به صورت منطقه‌ای تغییر می‌کند. خردشدگی‌ها و شکستگی‌های کششی - القایی از طریق چاه نمودارهای تصویرگر نوری¹ و چاه نمودارهای تصویرگر چگالی² نیز قابل تفسیر هستند. در چاه نمودار تصویرگر نوری (یعنی نمایشگر نوری³ و ویدئوچاه⁴، خردشدگی به صورت نواحی گسترده‌ای از بزرگ‌شدگی⁵ درون چاه ظاهر می‌شوند. برای مشاهده خردشدگی درون چاه ابزار تصویربرداری صوتی نسبت به سایر ابزار ترجیح داده می‌شود. علاوه بر این تعیین زاویه بازشدگی (WBO) و عمق خردشدگی را که بوسیله سایر ابزار قابل تشخیص نمی‌باشد را ممکن می‌سازد. انواع ابزارهای صوتی عبارتند از: CBIL و UBI (Reinecker, 2003). چاه نمودارهای تصویرگر چگالی، مانند چاه نمودارهای تصویرگر الکتریکی نیازمند ابزاری است که مستقیماً با دیواره چاه تماس داشته باشد، لذا ابزار تصویرگر چگالی به صورت جزئی یا کلی بیشتر اطلاعات آن مربوط به گل حفاری تا خردشدگی و شکستگی‌ها می‌باشد. گل حفاری چگالی کمتری نسبت به سازند دارد و بنابراین خردشدگی‌ها به صورت نواحی عریض با چگالی کم در 180 درجه اختلاف با هم ظاهر می‌شوند. درحالی که شکستگی‌های کششی - القایی اغلب به صورت شکستگی‌های موازی با محور چاه با چگالی کم و پهنای

کمتر ظاهر می‌شوند. درحالی که شکستگی‌های کششی - القایی اغلب به صورت شکستگی‌های موازی با محور چاه با چگالی کم و پهنای کمتر ظاهر می‌شوند. وجود چنین ساختمان بزرگی همچون میدان مارون آن هم در نزدیک مرز انتهایی منطقه چین خورده، جایی که قدرت نیروی تراکمی به حداقل می‌رسد. می‌تواند بیانگر این موضوع باشد علاوه بر کوهزایی، عوامل دیگری نیز (همچون عوامل خشکی‌زایی) در ایجاد چنین تاقدیس نسبتاً عظیمی دخالت داشته‌اند. ساختار نامتقارن مارون، تاقدیسی سینوسی و باریک بوده که شیب لایه‌ها در طول دامنه‌های مختلف آن متفاوت می‌باشد، به گونه‌ای که در طول دامنه جنوب غربی شیب به حداکثر تا 70 درجه می‌رسد در حالی که در طول دامنه شمال شرقی شیب بین 20 تا 45 درجه است. این میدان همانند دیگر میادین حوضه فرو افتاده دزفول دارای جهت شمال غرب - جنوب شرق است ولی در انتهای شرقی در اثر خمش که متعاقب چین خوردگی صورت گرفته است از جهت اصلی خود خارج شده و در جهت شمال شرقی - جنوب غربی تحت تاثیر نیروهای تراکمی و به تبعیت از انتهای شرقی مخزن بالا آمدگی‌های احتمالی قدیمی و ادامه آن تا به امروز ایجاد شده است (قلی‌پور و حقی، 1369).

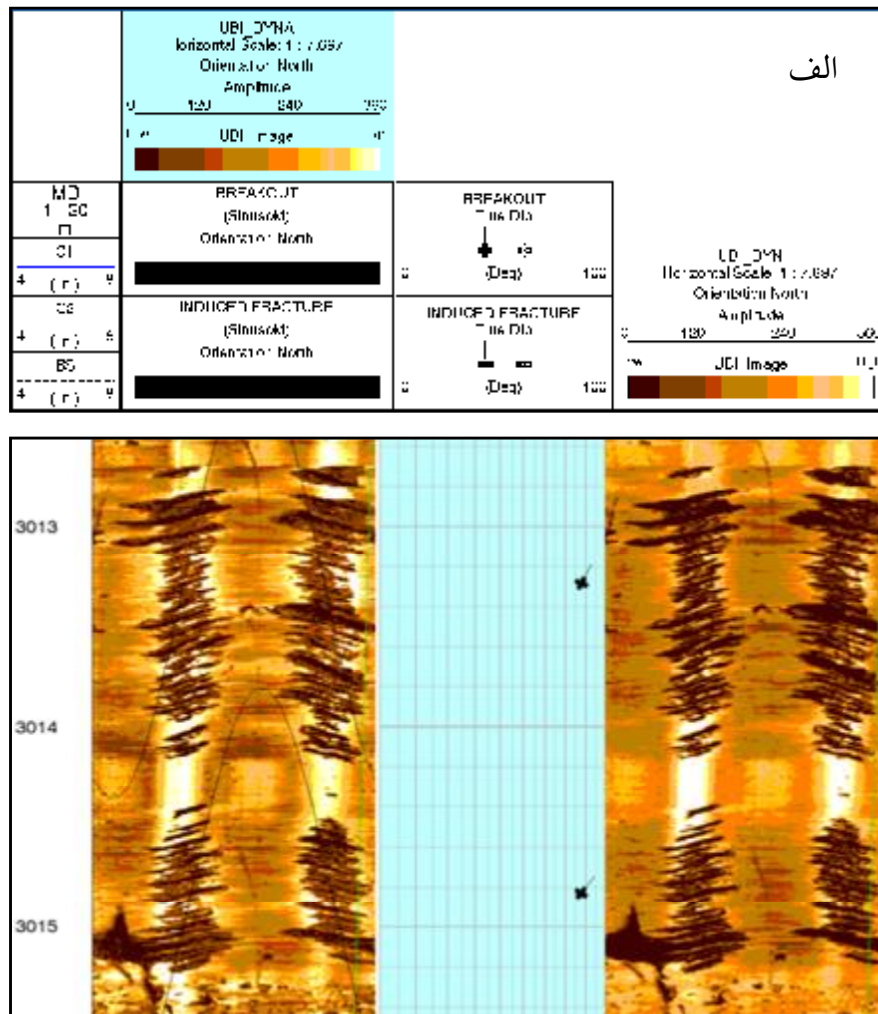
بر اساس درجه سینوسی شدن و با توجه به شکل و ترکیب ظاهری میدان مارون و با بهره‌گیری از اطلاعات موجود سه محدوده زمین‌ساختی متفاوت بر روی این میدان قابل شناسایی و تشخیص می‌باشد (شکل 14) که عبارتند از:

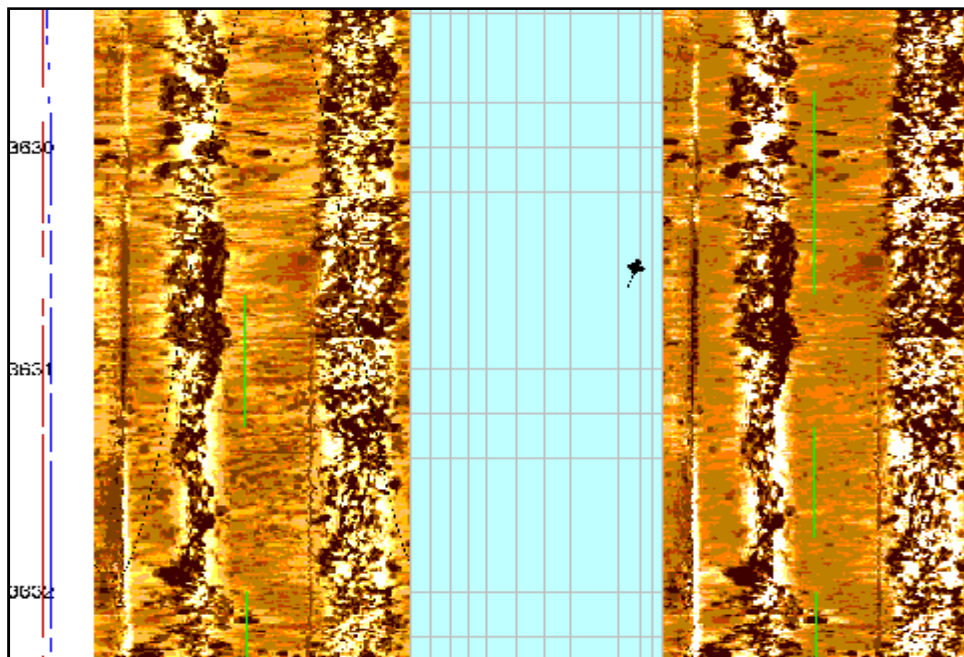
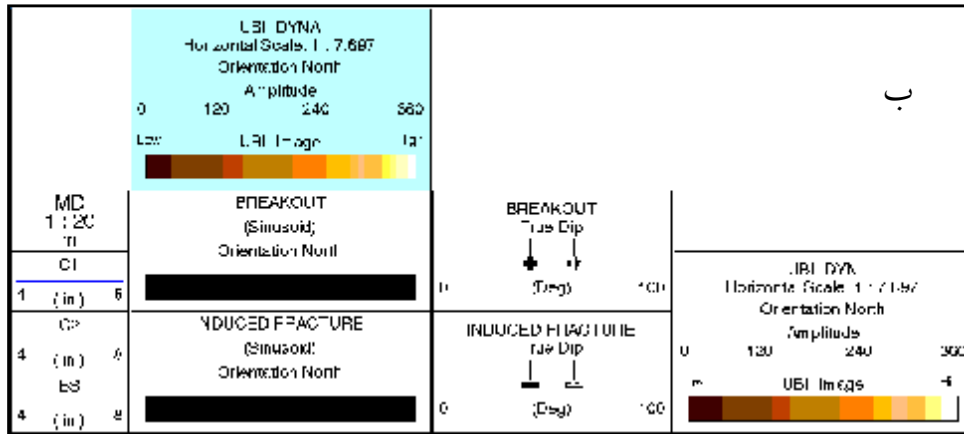
- محدوده A: این محدوده در مرکز میدان قرار داشته و متحمل بیشترین فشار و خمش شده است.
- محدوده B: این محدوده در انتهای شرقی ساختار قرار دارد و متحمل خمش نسبتاً ملایمی شده است.
- محدوده C: این محدوده در انتهای غربی ساختار قرار دارد و متحمل خمش نسبتاً ضعیفی شده است.

1. Optical image logs
2. Density image log
3. Optical televiewer
4. Downhole video
5. Enlargement

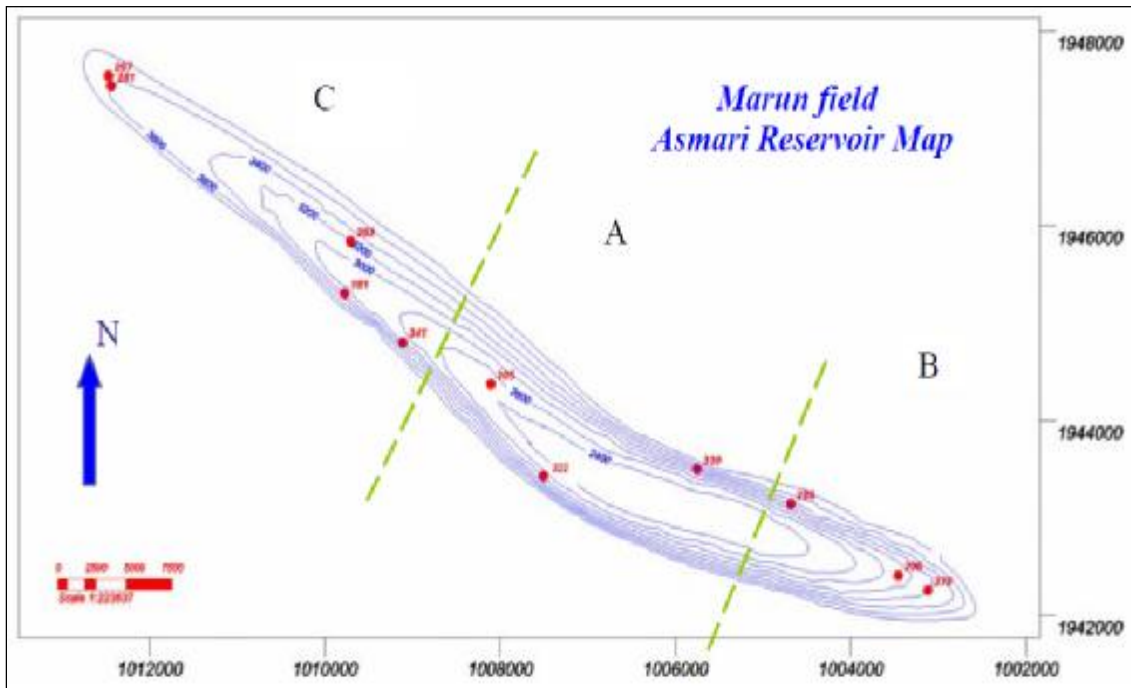
ابتدا به سمت جنوب-جنوب غرب بوده، باعث تغییر روند اولیه این میدان به سمت شمال غرب-جنوب شرق شده است. وجود یک گسل امتدادی راست گرد ناحیه‌ای مرتبط با آخرین مرحله عملکرد نیروهای تراکمی در طول پال شمال غربی میدان باعث جدایش ساختار میدان نفتی مارون از ساختار میدان رامین شده است. بخش‌های داخلی خمش‌ها در محدوده‌های A، B و C تحت عملکرد نیروهای تراکمی و فشاری قرار دارند در حالی که بخش خارجی آنها تحت تأثیر نیروهای کششی قرار گرفته‌اند.

آخرین مرحله عملکرد نیروهای تراکمی باعث ایجاد دگرشکلی در محدوده‌های A و B و همچنین باعث رورانندگی ساختار آغاچاری بر روی انتهای شرقی ساختار مارون گردیده است. وجود رسوبات ضخیم ماسه‌ای بدون سیمان و نقش آنها به عنوان سطوح هسته‌ای ضعیف باعث سهولت در آخرین مرحله دگرشکلی ساختمانی در این میدان شده است. با افزایش مقاومت انتهای شرقی ساختار مارون در مقابل عمل گسلش و رورانندگی ساختار آغاچاری بر روی آن، دگرشکلی به میزان اندکی به سمت ناحیه B این میدان انتقال یافته است. جهت عملکرد نیروهای تراکمی که در





شکل 13. ناپایداری دیواره چاه (از نوع خردشدگی) در چاه‌های 305 و 355 مخزن آسماری میدان مارون (الف و ب)



شکل 14. نقشه زیرزمینی سازند آسماری میدان مارون و نمایش مناطقی با حداکثر دگرشکلی (Intera, 1992).

می‌شود که این امر رامی‌توان به فعالیت‌های منطقه‌ای بعد از چین خوردگی مربوط دانست.

4- استفاده از داده‌های هرز روی گل حفاری:

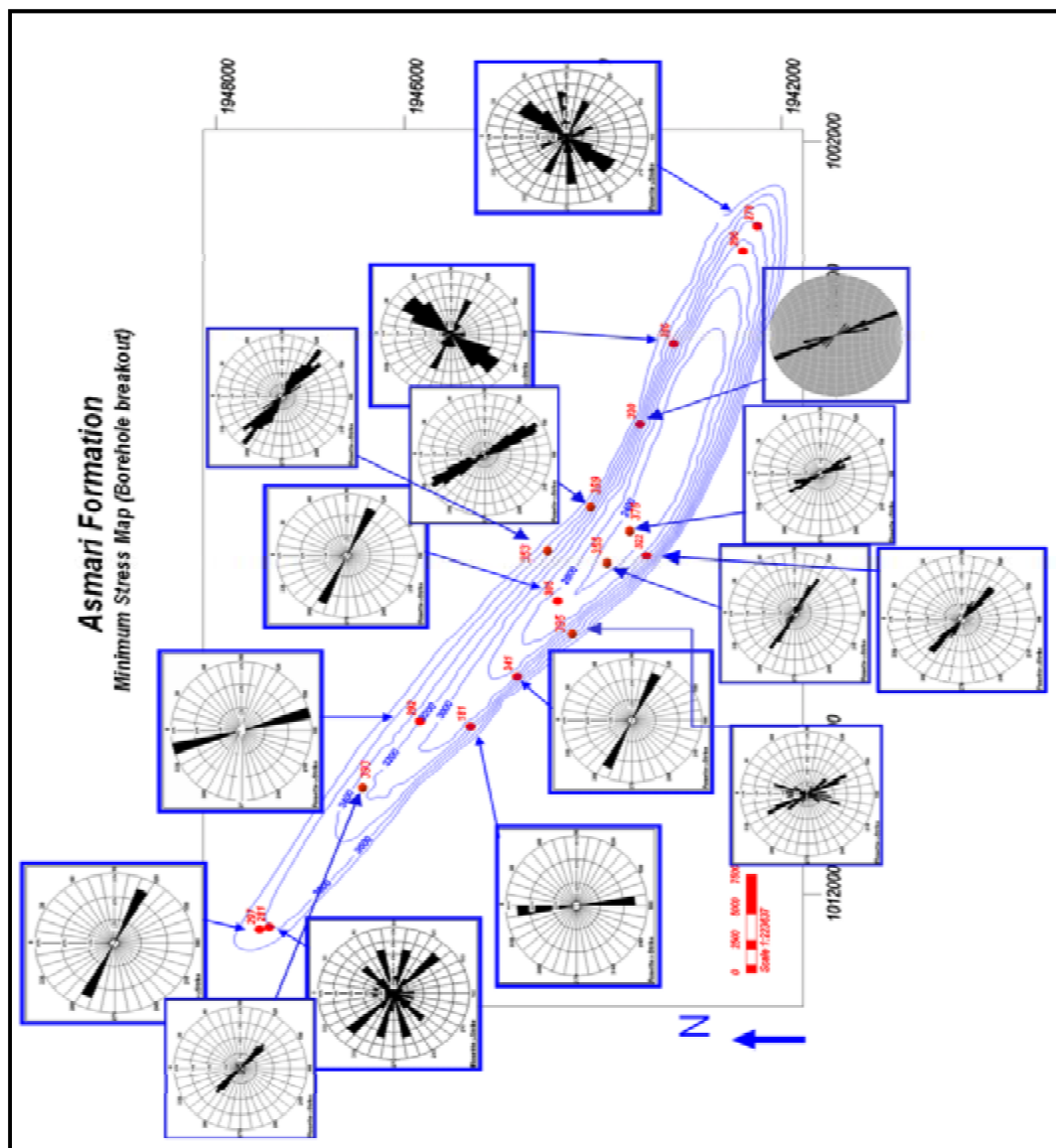
جهت استفاده از داده‌های هرز روی گل در این تحقیق از اطلاعات حفاری 40 حلقه چاه میدان مارون که بیشتر در ناحیه ستیغ قرار داشته‌اند استفاده گردید. نمودارهای هیستوگرام اطلاعات هرز روی گل بر حسب بشکه در ساعت برای چاه‌های فوق تهیه و نقشه‌های هم هرز روی گل (بشکه در ساعت) سازند آسماری تهیه گردید. (Barker and Speers., 1978) با استناد به عواملی مثل هرز روی گل، به تجزیه و تحلیل شکستگی‌ها در مناطق شکسته شده مخزن پرداختند. این روش در مورد سازند ناهمگنی مثل سازند آسماری میدان مارون با وجود داشتن لایه‌های با نفوذپذیری بالا مانند لایه‌های ماسه‌ای بدون سیمان، منطقی به نظر نمی‌رسد و تنها در لایه یک‌بندلیل همگن بودن و عدم وجود لایه‌های نفوذپذیر پیشنهاد می‌گردد. هر چند شکستگی‌های موثرین

بر اساس داده‌های نمودارهای تصویرگر از 19 حلقه چاه، بررسی و تعیین جهت تنش بر جای افقی در سرتاسر میدان مارون انجام گردید. لازم به ذکر است که اکثر داده‌های خام از نوع صوتی UBI بوده که در تشخیص ناپایداری‌های دیواره چاه مخصوصاً خردشدگی‌ها از وضوح و دقت بیشتری برخوردار بوده‌اند. داده‌های خام نمودارهای تصویرگر در نرم افزار GeoFrame 4.5 پدیده‌های ژئومکانیکی مورد نظر را شناسایی کرده و آزمایشات آنها مورد ثبت قرار گرفت. پس از ثبت داده‌های تفسیرشده و نمایش آنها بر روی دیاگرام گل سرخی امتداد تنش افقی حداقل در هر یک از چاه‌ها بدست آمد. نقشه تنش¹ میدان مارون (شکل 15) نشانگر وضعیت حداقل تنش کنونی در منطقه می‌باشد. در تمامی نقاط ساختمان جهت حداقل تنش افقی -NW SE بوده و تنها در محدوده دماغه‌های شرقی و غربی و یال شمال شرقی در محل چاه‌های 278، 281، 286، 296، 393 و 395 تغییرات زیادی در جهت تنش آنها مشاهده

¹ Stress map

دهند. این چاه ها در محدوده های مرکزی در محل خمش مشخص شده اند. افزایش هرزروی در این محدوده را می توان در ارتباط با افزایش خمش سازند و گسترش شکستگی های کششی در نظر گرفت. همچنین چاه های 62، 123، 204، 249، 273، 306، 322 نیز هرزروی بالای 50 بشکه را نشان می دهند (شکل 9).

که تأثیر زیادی بر نفوذپذیری و برداشت نفت خام دارند، در این روش مشخص نمی شوند. با این حال در این پژوهش تنها به این نوع داده ها با دید کیفی نگریسته شده و جهت همخوانی و تطابق با سایر اطلاعات استفاده می گردند. بر این اساس چاه های 62، 249، 306، 123 و 273 هرزروی بالایی را در سازند آسماری نشان می



شکل 15- نمایش جهت حداقل تنش افقی در مخزن آسماری چاه های میدان مارون براساس نتایج تفسیر نمودارهای تصویرگر.

5- نتیجه گیری:

پس از جمع آوری داده‌های خام نمودارهای تصویرگر گرفته شده در مخزن آسماری 19 حلقه چاه و پردازش و تفسیر بر روی هر یک از چاه‌ها، دوائر محاطی گسترش شکستگی‌هایی را نشان می‌دهند که در ارتباط مستقیم با فرایند چین خوردگی بوجود آمده‌اند. شکستگی‌های شرقی - غربی بیشتر در دماغه غربی در محل چاه‌های 281 و 297 و در محور ساختمان در بخش مرکزی محل چاه 305 و در یال شمالی چاه 286 و در محل چاه 278 در دماغه شرقی و چاه 181 در یال جنوبی ساختمان دیده می‌شوند و به نظر می‌رسد در ارتباط با فعالیت‌های سیستماتیک ناحیه‌ای بوده باشند. تغییرات جانبی توسعه شکستگی‌ها از محور به سمت یال‌ها بوده به طوری که در ناحیه خمش تحت تأثیر فشارش بیشتر شکستگی‌های تراکمی دیده می‌شود، در صورتی که به سمت خارج انحنا تحت تأثیر نیروی کششی شکستگی‌های طولی و بزرگ ایجاد می‌شود. بنابراین مراحل تکاملی تشکیل ساختار با توجه به فشار وارده می‌تواند از عوامل کنترل شکستگی در مخزن باشد. همچنین با توجه به داده‌های هرزروی گل حفاری در برخی از چاه‌های انتخابی میدان مارون، تطابق مناسبی بین پراکندگی شکستگی‌ها و میزان هرزروی دیده شد. جهت تنش‌های افقی در تمامی زمینه‌های ژئومکانیک مخزن نظیر ساخت مدل‌های مکانیکی زمین¹، برنامه‌ریزی به منظور پایداری دیواره چاه همزمان و پس از حفاری، روش‌های مختلف افزایش تولید همچون شکست هیدرولیکی، روش‌های جلوگیری از تولید ماسه و گسیختگی لوله‌های جداری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این پژوهش امتداد تنش افقی حداقل (S_{hmin}) در سرتاسر میدان نفتی مارون تعیین گردید که در جهت NW-SE می‌باشد. لازم به ذکر است که جهت تنش افقی حداکثر (S_{Hmax}) با فاصله 90 درجه نسبت به تنش افقی حداقل در نظر گرفته می‌شود که با روند کلی چین خوردگی زاگرس مطابقت دارد. لازم به ذکر است که جهت تنش افقی در دماغه‌های شرقی و غربی و بخشی از

یال شمال شرقی در اعماق متفاوت حفاری دارای جهت گیری متفاوت بوده که این امر را می‌توان به فعالیت‌های منطقه‌ای بعد از چین خوردگی نسبت داد.

سپاسگزاری

از دوستان و همکاران شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب به ویژه معاونت محترم زمین‌شناسی گسترشی جناب آقای مهندس فرخ ناصری کریموند به خاطر همکاری‌های همه جانبه کمال تشکر و قدردانی را داریم.

مراجع:

- ستودنیا، ا.، پری، تی جی، 1966، شرکت ملی نفت ایران - نقشه 1/100000 مارون.
- فارسی‌مدان، م.، 1390، بررسی اثر خزش سنگ در ایجاد مجالگی لوله‌های جداری در میدان نفتی مارون، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، 188 صفحه.
- میرزاقلی پور، ع.، حقی، ع.، 1369، مطالعه زمین‌شناسی میدان نفتی مارون، اداره کل زمین‌شناسی گسترشی، شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب، گزارش شماره پ-4210، 55 صفحه.
- Agard, P., Omradi, J., Jolivet, L., Whitechurch, H., Vrielynck, B., Spakman, W., Monie, P., Meyer, B and Wortel, R., 2011. Zagros orogeny: a subduction-dominated process, *Geology Magazine* 1-34.
- Brudy, M. and Zoback, M.D; 1993. Compressive and tensile failure of bore-holes arbitrarily inclined to principal stress axis: application to the KTB boreholes. 34th US Symposium on Rock Mechanics Germany.
- Berberain, M., 1995. Master blind thrust fault hidden under the Zagros folds: Active basement tectonics and surface morphotectonics, *Tectonophys* 241, 3-224.
- Dick, P., Helle, K., John, R., Qiming, L., Tom, B., 1999. Logging-While-Drilling images for Geomechanical. *Geological and Petrophysical Interpretations. Society of Petrophysicists and Well-Log Analysts.*
- Falcon, N., 1974. Southern Iran: Zagros Mountains. In *Mesozoic-Cenozoic Orogenic Belts: Data for orogenic studies* (Ed. A. M. Spencer),

¹ Mechanical Earth Model

- 4, 199–211.
- Intera Petroleum Technologies, Ltd; 1992. Marun Field study. ISBN 91, 554-5621-9.
 - Leturmy, P., Molinaro, M., Frizon de lamotte, D., 2010. "Structure timing and morphological signature of hidden reverse basement faults in the Fars Arc of the Zagros (Iran). In Tectonic and Stratigraphic Evolution of Zagros and Makran during the Mesozoic– Cenozoic (Eds P. Leturmy and C. Robin)", Geological Society of London, Special Publication 330, 121–38.
 - Jaeger, J.C. and Cook, N.G.W; 1979- Fundamentals of rock mechanics. Chapman & Hall, New York.
 - Mouthereau, F., Lacombe, O. and Meyer, B., 2006. The Zagros folded belt (Fars, Iran): constraints from topography and critical wedge modeling, Geophysical Journal International 165, 336–56.
 - Nelson, E.J., *et al.*; 2005. Transverse drilling-induced tensile fractures in the West Tuna area, Gipps land Basin, Australia: implications for the in situ stress regime, 42, 361-371.
 - Peska, P. and Zoback, M.D; 1995. Compressive and tensile failure of inclined borehole and determination of in situ stress and rock strength, Journal Geophysics Research 100 (B7), 12791–12811.
 - Prensky, S., 1999. Advances in borehole imaging technology and applications, in Lovell, M.A., Williamson, G., and Harvey, P.K., editors, Borehole imaging—applications and case histories, Geological Society [London] Special Publication 159, 1-44.
 - Prensky, S.E., 1990. Bibliography of well-log applications, annual update, October 1,1989. September 1,1990: The Log Analyst, 31, no. 6, 395-424.
 - Plumb, R.A. and Cox, J.W; 1987. Stress directions in eastern North America determined to 4.5 km from borehole elongation measurements. Journal Geophysics Research, 90, 5513–5522.
 - Reinecker, J.; 2003. Borehole breakout analysis from four-arm caliper logs. World Stress Map Project.
 - Sherkati, Sh.; 2004. variation of structural Style and basin evolution in the central Zagros.
 - Speers, R.G.; 1978- The Geology of the Bangestan Reservoir, Marun Field, report, 3541, oil Service company of Iran Exploitation Geology.
 - Sarkarinejad, K., Ghanbarian, M. A 20. The Zagros hinterland fold-and thrust belt in-sequence thrusting",. Journal of Asian Earth Sciences, 85, 66-79.
 - M. Sepehr, J. W. Cosgrove "Structural framework of the Zagros Fold-Thrust Belt, Iran", Marine and Petroleum Geology, 21 (2004) 829–43.
 - Tingay, M., Reinecker, J. and Müller, B.. 2008. Borehole breakout and drilling-induced fracture analysis from image logs. World Stress Map Project. Guidelines: Image Logs.